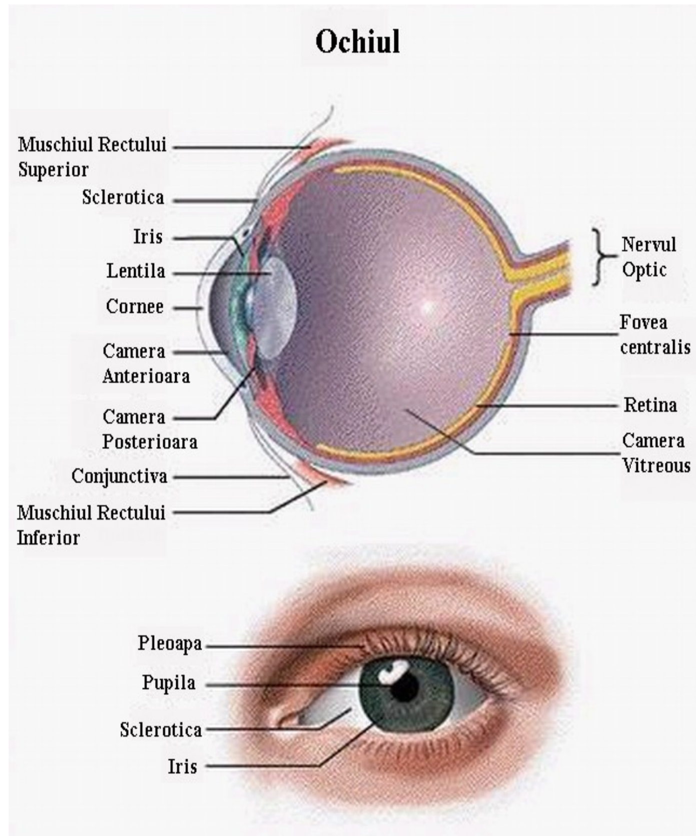
Lumea văzută prin ochii animalelor

Structura şi funcţiile aparatului vizual

Aparatul vizual, cel mai important organ de simţ, informează sistemul nervos central asupra tuturor modificărilor care au loc în mediul înconjurător.



Funcţionează pe principiul sistemul cibernetic, adică are în exterior globul ocular numit şi "aparat de luat vederi", apoi căi de transmisie a mesajului şi centri corticali de interpretare a imaginii.

Globul ocular este în general de formă sferică şi are o structură formată din trei membrane:

- Membrana externă, numită *sclerotica*, de culoare albă sidefie, fibroasă şi rezistentă, inextensibilă la adult, dar uşor extensibilă în prima copilărie, este numită şi scoica sclerală, deoarece menţine forma globului ocular şi a fost asemuită cu sistemul osos din alte părţi ale organismului. Este formată din fibre conjunctive-elastice, împletite în patru straturi, în sistem de reţea de balon, care îi dă rezistenţa şi starea opacă, netransparentă. Aceste fibre iau naştere prin secretarea de substanţe colagene şi mucopolizaharizi a unor celule numite fibrocite. Dacă genetic aceste celule nu au mesaj normal de sintetizare a acestor substanţe, apar fibre cu rezistenţă redusă, care prin presiunea conţinutului globului ocular se alungesc sau îşi modifică forma, putând să ducă la tulburări de refracţie cum este miopia, astigmatismul, cheratoconul.

Rolul fiziologic al scleroticei este de a proteja celelalte componente oculare.

Membrana externă, sclerotica, în 1/6 anterioară, la polul anterior îşi modifică structura prin plasarea fibrelor în sistem paralel, ceea ce face ca această porţiune să devină transparentă. Această zonă este numită corneea transparentă, prin care pătrunde lumina, excitantul specific al ochiului. Corneea poate fi asemuită cu geamul unei încăperi.

Corneea are principalul rol optic de a permite pătrunderea radiaţiilor luminoase şi, prin puterea ei de refracţie de 40 de dioptrii, de a devia traiectoria luminii, pentru a ajunge la retină.

- Membrana mijlocie este numită uveea şi se împarte în: uveea anterioară şi uveea posterioară. Uveea anterioară cuprinde la rândul ei două elemente: corpul ciliar şi irisul.

Corpul ciliar este format de muşchii ciliari şi procesele ciliare.

Muşchii ciliari sunt netezi, nesupuşi voinţei şi funcţionează reflex, având legături foarte fine cu lentila cristaliniană transparentă. Îndeplinesc cea mai importantă funcţie optică oculară şi anume punerea la punct a imaginii pe care o fixăm de la orice distanţă. Aceasta este funcţia de *acomodaţie vizuală*, necesară unei vederi clare în

privirea de la orice distanţă dorim. Muşchii acţionează prin contracţie sau relaxare asupra cristalinului.

Procesele ciliare, bogat vascularizate, secretă umoarea apoasă necesară menţinerii presiunii normale intraoculare, precum şi nutriţiei formaţiunilor care nu au vase, cum sunt corneea şi cristalinul.

Irisul, membrana diafragmatică situată vertical în faţa cristalinului este colorată diferit de la subiect la subiect, de la rasă la rasă. Central, irisul are un orificiu numit pupilă.

Pupila îşi poate micşora sau mări diametrul în raport cu lumina din mediul exterior, având în mod reflex rolul de a doza cantitatea de lumină ce pătrunde în interiorul ochiului până la retină.

Uvcea posterioară, cunoscută şi sub numele de coroidă, este asemuită cu un burete vascular, deoarece conţine aproape în totalitate numai vase de diferite mărimi, care au rolul de a hrăni retina şi celelalte componente oculare.

Coroida conţine şi un pigment, care realizează aşa numita cameră obscură a ochiului.

- A treia membrană a ochiului este retina, de tip nervos, formată din 10 straturi în care există 3 tipuri de neuroni: primul neuron: *conul* şi *bastonaşul*; al doilea neuron *celula bipolară* şi al treilea neuron *celula ganglionară*.

La acest nivel se face transformarea radiaţiei luminoase în energie electrică, care transmite mesajul vizual la scoarţa cerebrală. Conurile şi bastonaşele sunt neuronii cei mai importanţi, care conţin substanţele fotosensibile şi anume iodopsina şi rodopsina, substanţe care au în compoziţia lor ca element esenţial vitamina A. Conurile sunt aşezate în centrul fundului de ochi în zona numită *macula optică* (pata optică).

Există în general până la aproximativ 8000000 de celule, care se ocupă cu perceperea formei elementelor fixate (simţul formelor) şi cu distingerea luminii monocromatice, deci a culorilor (simţul cromatic).

Bastonaşele sunt cu aproximaţie în număr de peste 60000000 elemente şi au proprietatea de a sesiza intensităţi de lumină din ce în ce mai reduse, adică permit orientarea în lumina redusă, în întuneric (simţul luminos).

Excitantul specific al acestor celule neuroni este radiaţia electromagnetică, adică lumina compusă albă, formată din particule foarte fine numite fotoni sau cuante de lumină.

Cuantele de lumină pătrund în ochi prin mediile transparente şi refringente, cum sunt corneea, umoarea apoasă, cristalinul şi corpul vitros. Ajunse la conuri şi bastonaşe, determină un microbombardament, deoarece au masă şi viteză, rupând molecula de substanţă fotosensibilă (iodopsina şi rodopsina). Are loc o transformare fotofizicochimică, ce se face prin rezonanţă paramagnetică şi electronii sunt aruncaţi pe orbite externe, determinând o diferenţă de potenţial. Această diferenţă de potenţial se transmite prin ceilalţi neuroni (celule bipolare şi ganglionare), prin nervii optici şi căile optice până la scoarţa cerebrală, unde se formează imaginea prin mecanism psihic.

Această proprietate piezoelectronică a neuronilor retinieni dă posibilitatea transformării luminii în energie electrică, care duce mesajul vizual la scoarţa cerebrală.

Deci imaginea vizuală, aşa cum înfăţişează tot ce fixăm din mediul extern, este completă şi se formează intr-o etapă optică (mediile transparente şi refringente), una fiziologică (mecanismele petrecute în neuronii retinieni) şi o etapă psihică (interpretarea mesajului în scoarţa cerebrală).

Componenta optică oculară, formată din corneea transparentă, situată în polul anterior al globului ocular şi refringentă cu o putere de 40 de dioptrii, poate să dirijeze razele luminoase sosite la ea. Umoarea apoasă care este numai transparentă,

se află în spatele corneei, în aşa numita *cameră anterioară* a ochiului, care din punct de vedere optic nu are decât să conducă razele luminoase.

Al treilea element şi foarte important este lentila cristaliană convexă, transparentă, şi refringentă de 20 de dioptrii.

Această lentilă este legată prin fibre foarte fine (zonula Zinn) de muşchii ciliari. Cristalinul este situat în spatele irisului şi are posibilitatea prin contracţia reflexă a muşchiului ciliar fie să-şi crească refrigenţa (se bombează) permiţând vederea de aproape, fie să-şi scadă refringenţa (se turteşte), permiţând vederea la distanţă.

Această proprietate este acomodaţia vizuală, care ne permite să vedem clar de la orice distanţă privim.

În spatele cristalinului şi deci în restul conţinutului ocular se află corpul vitros (sau umoarea sticloasă) element transparent, graţie unui edificiu chimic colagenic cu o structură foarte fină, lipsită de orice alt element structural şi mai ales de vase. Rolul corpului vitros este de a permite razelor să ajungă la neuronii retinieni.

Anexele globului ocular. Ca să funcţioneze în condiţii bune, globul ocular sau aparatul de luat vederi are aparate ajutătoare sau anexele.

Orbita este o cavitate de formă piramidală, patruunghiulară, cu vârful îndreptat posterior şi uşor oblic din afară înăuntru. La vârf se află *gaura optică*, pe unde pătrunde nervul optic în craniu şi trece în creier prin căile optice.

Baza acestei piramide se află anterior la nivelul feţei, de o parte şi de alta a liniei mediane a craniului.

Orbita protejează globul ocular împotriva diferitelor agresiuni externe. Pe baza orbitei este aşezat globul ocular, iar în rest orbita conţine cei 6 muşchi extrinseci care determină mişcările ochiului, vase, nervi şi ţesut adipos (grăsos).

A doua anexă importantă sunt cele două pleoape formaţiuni cutaneo-musculo-membranoase, care protejează globul ocular împotriva agresiunilor (praf, fum, corpi străini etc.).

Aparatul lacrimal este anexa necesară lubrefierii corneei şi conjunctivei prin secreţia lacrimilor, care participă şi la unele schimburi nutritive şi la oxigenarea polului anterior al ochiului. Lacrimile conţin şi o substanţă numită lizozim, care este un bacteriostatic ce menţine echilibrul bacteriologic la polul anterior al ochiului.

Conjunctiva este o foiţă foarte fină, roz-transparentă, care tapetează faţa posterioară a pleoapelor apoi la baza lor se reflectă, formează un fund de sac şi trece pe 1/3 anterioară a globului până la cornee.

Este o membrană bogat vascularizată şi inervată, care protejează globul ocular contra oricărui corp străin, praf, fum etc. Muşchii extrinseci ai ochiului sunt 4 drepţi (superior, inferior şi externi) şi 2 muşchi oblici, care toţi participă la mişcările ochilor.

Ochiul astfel organizat, transmite prin nervul optic mesajul de la retină prin căile optice, care se încrucişează parţial în chiasma optică şi trec în bandeletele optice, corpii geniculaţi extern, apoi în radiaţiile optice, care se termină în scoarţa cerebrală în scizura calcarină în zonele 17, 18, 19 Brodmann.

Ochiul omenesc nu e singurul fel de ochi. Ochii aproape tuturor vertebratelor sunt în esenţa la fel cu ochiul omenesc. Însă la animalele inferioare găsim multe alte feluri de ochi: în formă de pete sau cavităţi sensibile, precum şi alte organe mai puţin sensibile. La nevertebrate găsim însa un alt tip foarte dezvoltat de ochi, ochiul compus, al insectelor. (Cele mai multe insecte care au ochi mari compuşi au în plus şi ochi mai simpli.)

Analizatorul vizual este ansamblul morfofuncţional prin care se formează şi se analizează senzaţiile luminoase. Corneea, umoarea apoasă, cristalinul, umoarea sticloasă sunt medii transparente cu o consistenţa diferită, ceea ce conferă variate grade de refracţie şi realizează în ansamblu un sistem dioptric adecvat formării imaginii pe retină; în repaus acest sistem dioptric are aproximativ 60 dioptrii.

Numim câmp vizual porţiunea din spaţiu care poate fi văzută de un ochi ce are o poziţie fixă, toate punctele din acest spaţiu putând fi vizbile în acelaşi timp. Mărimea spaţiului perceput de ochi în asemenea condiţii este determinată de posibilitatea vizuală a periferiei retinei.

Răspândirea elementelor receptoare din retină, sensibile la excitaţiile luminii albe si ale culorilor, nu este aceeaşi, fapt care determină variaţii ale suprafeţei câmpului vizual pentru alb şi pentru diferite culori.

Deşi vedem cu doi ochi, senzaţia vizuala este unică, datorită faptului că imaginile retiniene pentru un obiect se realizează în arii retiniene simetrice ale celor doi ochi, de la care impulsurile nervoase converg central în aceeaşi arie corticală. Ariile retiniene situate pe aceeaşi parte (dreaptă sau stangă) sunt simetrice, spre exemplu, aria retiniană din dreapta a celor doi ochi corespunde cu aria retiniană temporală a ochiului drept şi cu aria retiniană nazală a ochiului stâng.

Senzaţia de mişcare se produce în condiţii diferite după cum ochiul:

-percepe deplasarea unui mobil când poziţia sa este fixă şi imaginea se deplaseaza pe retină;

-când ochiul urmăreşte mobilul în deplasare atunci senzaţia de mişcare depinde de reflexele cu punct de plecare în muşchii oculomotori, determinate de modificările de orientare ale ochilor.

În lumea animalelor sunt trei feluri în care ochiul este integrat în corp:

-ochi incluşi în corp, ca în cazul artropodelor, unde nu este nici o mişcare relativă între ochi şi corp;

-ochi incluşi în corp, cu lăţimea cordului optic redusă, permiţând un grad de libertate unghiulară;

-ochiul chordata, cu o mai redusă legătură optică, permiţând o libertate unghiulara de două grade.

Vederea biologică implică simţurile unor specii –părţi specifice ale spectrului electromagnetic. În ochiul uman lumina este tradusă de celule receptoare ce conţin pigmentul vizual Rhodospin. La nivel micromolecular un foton loveşte o moleculă de Rhodospin, care este excitat la un nivel de energie mai înalt şi vibrează mai puternic.

Aceasta duce la căderea Rhodospinului în retinol (din vitamina A) şi opsin , apoi ducând la închiderea unui canal de ioni şi la generarea unui semnal electric, trimis apoi pe nervul optic pentru a fi procesat de creier.

Acest proces de transformare chimică din fotoni în energie electrică este comun în lumea animală. Ochiul a evoluat independent şi într-un lung şir de forme. Chiar şi cele mai primitive forme de viaţă prezintă sensibilitate la iradiere. De exemplu, planaria foloseşte un şir curbat de celule fotoreceptoare, de-a lungul fiecărei părţi a corpului, alături de încă un şir de celule, formând o barieră.

De la simple pete sensibile, senzorii vizuali mai complecşi au evoluat până la ochiul compus (format din ommadium) şi ochiul complex (subdivizat, folosit de animalele cu retina directă sau inversă, ordinul mollusca şi respectiv chordata).

Este dificil de explicat forma structurii ochiului fiecărei specii. Evoluţia ochiului apare în tandem şi este influenţată de caracteristicile psihologice ale animalului. Tipul de sistem vizual folosit este strâns legat de mediul de viaţă al animalului şi de mobilitatea acestuia

Cum văd animalele lumea?

Vederea lor este asemănătoare cu a noastră?

Toate animalele văd prin captarea razelor de lumină, şi deşi, pentru o gorilă noi părem foarte diferiţi, ochii noştrii captează lumina într-un mod asemănător.

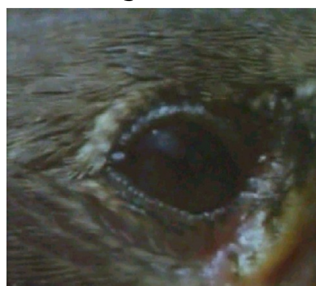
Dar pentru amândoi, imaginea captată pe retina sensibilă la undele de lumină, nu este imaginea percepută de creier. Este cu capul în jos şi doar centrul arată vreun detaliu relevant.

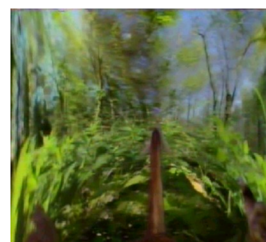




Pe retină, această porţiune conţine o mare concentraţie de celule sensibile la lumină. Culoarea şi definirea imaginii sunt concentrate în acest punct. Creierul, nu numai că învârte imaginea, dar umple şi informaţiile lipsă. Ca şi creierul nostru, creierul unei gorile are un rol în aprecierea distanţei. Ochiul drept are o vedere puţin diferită de cea a ochiului stâng. Din doua imagini diferite creierul construieşte o imagine tridimensională, iar prin aprecierea distanţei aceasta devine precisă. Creierul este implicat în vederea tuturor animalelor, dar departe de rudele noastre apropiate putem doar să ghicim modul în care se formează imaginea în final.

Ochii graureului sunt mult mai mobili decât ai noştrii. Imaginile văzute de cei doi ochi se deportează. Ochii se concentrează pentru a căuta hrana şi se depărteaza pentru a zări prădatorii. La fel ca alţi prădători, ochii graurelui sunt plasaţi de-o parte şi alta a capului pentru a oferi o imagine panoramică. Mişcările ochilor ajută la concentrare.

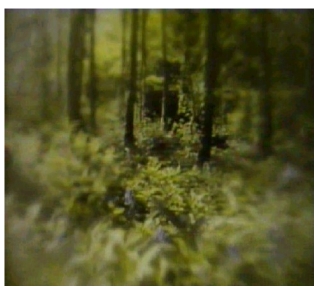




Nici un animal nu are o vedere mai amplă ca a ciocănitoarei. Fără să-şi mişte ochii poate vedea chiar şi in spatele ei. Ochii, plasaţi central de-o parte şi de alta a capului, oferă o vedere de jur-imprejur. Cu această viziune de 360^0 a lumii, ciocănitoarea camuflată nu are nevoie să se mişte.

Caii au ochi proeminenţi, aşezaţi separat pe fiecare parte a feţei, văzând aproape în întregime în jurul corpului, cu unul sau cu celălalt ochi, detectând pericolul.

Totuşi, poziţia ochilor este o problemă deoarece ei nu pot vedea în spate sau direct în faţă, imaginile fiind receptate separat şi creându-se astfel un loc gol.





Forma ovală a unei pupile de cal ajută la percepţia largă a imaginii, deşi nu poate judeca distanţa decât dacă este direct în faţa sa. Acesta este un exemplu de vedere monoculară, adică fiecare ochi vede o imagine diferită.

Pentru a observa pericolul. Ochii unui prădător sunt orientaţi înainte şi se concentrează la imaginea din faţa lui. Vederea unei vulpi este mai îngustă, dar nu are motive să se teama de pericolul din spatele ei. Ca multe mamifere, vulpea, are o vedere colorată limitată. Dar, ca şi noi, vede detaliile doar în centrul ochiului, creierul completând restul.

Pisicile, fiind prădătoare nocturne, şi-au dezvoltat vederea în întuneric foarte mult. Acestea au irişi verticali, care se pot îngusta până la cea mai subţire dungă în lumina zilei, sau se pot deschide pentru a ocupa 90% din suprafaţa ochiului, dându-i posibilitatea pupilei de a captura cea mai mică rază de lumină. În plus pisicile au o membrană strălucitoare în spatele ochilor numită tapetum lucidum, care le ajută să reflecte lumina înapoi prin retină, astfel văzând foarte bine în lumina slabă. Totuşi ele nu pot vedea în întuneric total.

Ochii pisicilor au mai multe bastonaşe şi mai puţine conuri decât noi, însemnând că în timp ce noi avem o percepţie mai bună a culorilor ele pot detecta mişcarea mai bine. Însa ele nu pot vedea obiectele apropiate foarte bine. Totuşi percep culorile: auriu, verde, portocaliu, galben, albastru, violet.

De asemenea pisicile au o a treia pleoapă, care protejează ochiul când ele vânează prin iarbă sau tufişuri. Această membrană se găseşte în colţul intern al ochiului.



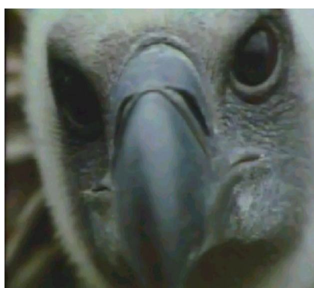


Şi leul are ochii îndreptaţi înainte, ca a unui prădător. Dar vederea lui diferă de cea a unei vulpi întru-un mod comun animalelor savanei. Pe un peisaj întins animalele de pradă par a fi la orizont. Pentru a profita de acest lucru, vederea detaliată a unui leu este concentrată într-o bandă. Banda laterală oferă o definiţie mult mai mărita şi creierul completează detaliile lipsă din zonele din împrejurimi.

Ca ochii tuturor mamiferelor, aceia ai animalelor sălbatice răspund cel mai bine la mişcare astfel că leii se mişcă cît furişat, profitând de fiecare sansă de a se camufla. Vederea cea mai bună a animalelor sălbatice se bazează şi pe banda laterală.

Vânatul va constitui hrană şi pentru necofragi.

Vulturii au probabil cel mai bun văz dintre toate animalele. Cu cât soarele încalzeşte pământul cu atât păsările se înalţă pe curenţii de aer cald. Aceşti curenţi vor oferi înalţarea păsărilor la altitudini de mii de metrii sau mai mulţi.



Când vor ajunge la aceste înalţimi vulturii vor fi capabili să supravegheze o rază mare de kilometrii de savană. Cu sute de astfel de “ochi zburatori” cercetând pământul, nici un leş nu va rămâne nedescoperit pentru mult timp. Renumita lor vedere se bazează pe o adaptare remarcabilă. Porţiunea centrală a imaginii văzute prin ochii lor este mărită de două ori şi jumătate. Pe retină, această porţiune mărită, are o mare concentraţie de celule sensibile la lumină. Acestea readau cel mai mic detaliu. Vulturii nu cerceteaza solul numai pentru stârvuri, dar sunt ghidati şi de comportamentul altor animale. O adunare de alţi sacrofagi este un indiciu clar că acolo se aflã hrană. Ei pot căuta împreună leşurile, dar în momentul găsirii unuia, este fiecare vultur pentru el însuşi.





Ochii adaptaţi la întuneric au adesea un strat reflectorizant în spatele retinei, pentru a reflecta lumina. Acest lucru oferă ochiului o şansă să absoarbă chiar şi cea mai mică undă de lumină. Cele mai multe mamifere nocturne posedă această vedere.

Păianjenul nu are nevoie de această vedere de noapte. Lentilele sale imense lasă să pătrundă orice rază de lumină, retinele sale având celule captatoare de lumină foarte mari. Pe lângă acest lucru, ochii săi au o vedere cu acoperire totală cu dublă senzitivitate. Păianjenul poate vedea cu o zecime de lumină din cât avem noi nevoie. Astfel, în cea

mai întunecată noapte el poate vâna. La început acesta construieşte o pânză unică. Pânza este ţinută pe picioare. Postat ca un gladiator miniatural, păianjenul se bazează pe vederea bună pentru a-şi captura prada. Ochii săi nu sunt sensibili numai la lumină, ci reacţionează la cea mai mică mişcare. Ochii păianjenului sunt similari cu ai noştrii, dar sunt multe animale cu vedere foarte diferită de a noastră.

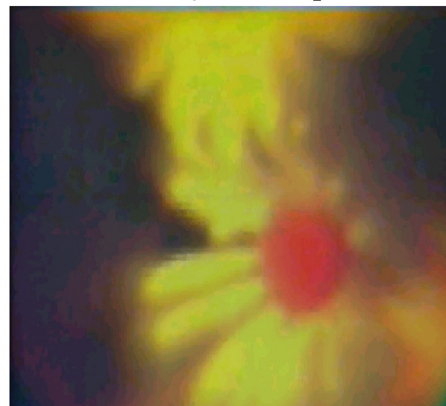
Insectele se află în situaţia în care sunt permanent expuse la prădători. Acestea au nevoie să ştie distanţa la care se află prădătorii, în orice distanţă.

Musca domestică se bazează pe informaţiile de mişcare pentru a supravieţui. De aceea ochiul compus al acesteia este capabil să detecteze frecvenţe de până la 300 Hz (faţă de ochiul uman:20-30 Hz). Caracteristicile sistemului vizual al muştei domestice (din punct de vedere al limitei frecvenţei de simţ al mişcării, percepţiei culorilor, al câmpului perceput) sunt diferite de ale ochiului uman.



Albina este o insecta a cărei vedere a fost studiată foarte atent. Proprietăţile vederii albinelor sunt uşor de studiat, deoarece ele sunt atrase de miere; se pot face experienţe în care mierea e identificată punând-o pe hârtie albastră sau roşie şi observând la care se duc albinele. Prin această metodă au fost descoperite câteva lucruri foarte interesante referitor la vederea albinelor.

În primul rând, încercând să măsoare cât de acut văd albinele diferenţa de culoare dintre două bucăţi de hârtie "albă" , unii cercetători au găsit că ele nu văd prea bine, iar alţii că văd extraordinar de bine. Chiar dacă cele două bucăţi de hârtie albă erau aproape la fel, albinele puteau face totuşi diferenţa. Experimentatorii au utilizat alb de zinc pentru o foaie de hârtie şi alb de plumb pentru cealaltă; deşi nouă aceste nuanţe ni se par exact la fel, albina le poate distinge cu uşurinţa deoarece ele reflectă diferit in ultraviolet. În acest mod s-a descoperit că ochiul albinei este sensibil pe un interval spectral mai larg decât ochiul omenesc. Ochii noştri funcţionează de la 7000 de ångströmi până la 4000 de ångströmi, din roşu până în violet, dar ai albinei pot vedea în ultraviolet până la 3000 de ångströmi. Aceasta duce la o serie de efecte interesante. În primul rând, albinele pot face o distincţie între multe flori care nouă ni se par la fel, trebuie să ne dăm seama că, culorile florilor nu au fost inventate pentru ochi noştri, ci pentru ai albinelor; ele fiind semnale pentru atragerea albinelor către o anumită floare. Ştim cu toţii că există multe flori "albe". Culoarea alb nu pare să fie prea interesantă pentru albine, căci se constată că toate florile albe reflectă în proporţii diferite în ultraviolet; ele nu reflectă în ultraviolet nici unu la sută faţă de un alb adevărat. Nu toată lumina se întoarce înapoi, de la floare; ultravioletul lipseşte, ceea ce reprezintă o culoare pentru albină exact aşa cum pentru noi absenţa albastrului înseamnă galben. Aşadar, pentru albine toate florile sunt colorate. Mai ştim însă că roşu e invizibil pentru albine. Un studiu atent al florilor roşii arată, mai întâi, chiar faptul că cu proprii noştri ochi putem vedea că majoritatea florilor roşii au o nuanţă albăstruie; ele reflectă şi o anumită cantitate de lumină albastră care este vizibilă pentru albină. Apoi, experienţele mai arată că reflexia dată de flori în ultraviolet de la o parte a petalei la alta şi aşa mai departe variază. Dacă am putea vedea florile aşa cum le văd albinele, ele ar fi încă mai frumoase şi mai variate!



S-a arătat, totuşi că există câteva flori roşii care nu reflectă în albastru sau în ultraviolet şi deci vor apărea într-adevăr negre albinelor. Faptul acesta a constituit o preocupare pentru cei care se interesează de aceste probleme, deoarece negrul nu pare a fi o culoare interesantă, fiind greu de deosebit de o umbră amărâtă. S-a constatat că în realitate aceste flori nu sunt vizitate de albine; sunt florile vizitate de păsările colibri, care văd culoarea roşu.

Alt aspect interesant al vederii albinelor este că ele par să poată determina direcţia soarelui doar privind la o porţiune de cer albastru, fără a vedea soarele însuşi. Noi nu putem face uşor acelaşi lucru. Dacă privim pe fereastră la cer şi vedem că el e albastru, în ce directie e soarele? Albina poate răspunde, fiindcă e foarte sensibilă la polarizaţia luminii, iar lumina împrăştiată care dă culoarea cerului este polarizată. Există însa unele discuţii în ceea ce priveşte modul cum operează această sensibilitate. Nu se ştia dacă se datorează reflexiei diferite a luminii în împrejurimi diferite, sau dacă ochiul albinei este direct sensibil. Date obţinute mai recent arată că ochiul ar fi direct sensibil.

Se presupune de asemenea că o albină poate distinge până la 200 de oscilaţi pe secundă, pe când noi putem distinge cel mult 20. Mişcările albinelor în stup sunt foarte repezi; picioarele se mişcă şi aripile vibrează, dar aceste mişcări sunt foarte greu de văzut cu ochii noştri. Faptul că ochiul său reacţionează atât de rapid are, probabil, o mare importanţă pentru albină.

Acuitatea vizuală a albinei

Ochiul albinei este un ochi compus, fiind alcătuit dintr-un mare număr de celule speciale numite omatide, aranjate radial aproximativ pe suprafaţa unei sfere, pe partea exterioară a capului albinei, în partea de sus se află o porţiune transparentă, un fel de “cristalin”, care în realitate seamănă mai mult cu un filtru sau o conductă ce canalizează lumina de-a lungul fibrei înguste unde probabil are loc absorbţia. Din acel capăt al celulei porneşte fibra nervoasă. Fibra centrală e înconjurată de şase celule care, de fapt, au secretat fibra. Avem de a face cu un obiect conic, multe astfel de celule putând fi dispuse una lângă alta pe toată suprafaţa ochiului albinei.

Rezoluţia ochiului albinei

Se poate calcula efectiv cât de mare este deschiderea unei omatide, apel la raţiunea noastră. Dacă avem o omatidă foarte mare, avem o rezoluţie slabă: o celulă primeşte informaţii dintr-o anumită direcţie, celula alăturată primeşte informaţii din altă direcţie şi aşa mai departe, iar albina nu poate vedea foarte bine obiectele situate între aceste direcţii, deci incertitudinea acuităţii vizuale va corespunde cu siguranţă unui anumit unghi, unghiul subîntins de capătul omatidei faţă de centrul de curbură al ochiului. Acest unghi de la o omatidă la următoarea e egal cu diametrul omatidei împărţit la raza suprafeţei ochiului:

$$\Delta\theta_g = \delta / r.$$

Deci putem spune : cu cât vom face mai mic pe δ, cu atât mai mare va fi acuitatea vizuală. Atunci de ce nu foloseşte albina nişte omatide foarte, foarte fine? Răspunsul este faptul că dacă încercăm să trimitem lumină printr-o deschidere îngustă, nu putem vedea precis din cauza efectului de difracţie. Poate pătrunde înăuntru lumina venită din mai multe direcţii; datorită difracţiei. Va intra lumina sosită sub un unghi $\Delta\theta_d$, astfel încât

$$\Delta\theta_d = \lambda/\delta.$$

Acum vedem că, dacă îl facem pe δ foarte mic, fiecare omatidă nu mai priveşte într-o singură direcţie. Dacă îl facem prea mare, fiecare celulă vede într-o singură direcţie, dar nu mai avem destule direcţii pentru a obţine o imagine bună. Prin urmare, ajustăm distanţa *d* pentru a reduce la minimum cele două efecte cumulate. Adunând cele două unghiuri, aflăm unde este minimă suma lor; avem

$$d(\Delta\theta_g+\Delta\theta_d)/d\delta=0=1/r-\lambda/\delta^2$$

ceea ce ne dă o distanţă:

$$\delta^2=\lambda r.$$

Dacă apreciem că r este cam 3 milimetri şi considerăm că lungimea de undă a luminii văzută de albină e 4000 de ångströmi, extrăgând radicalul obţinem:

$$\delta=(3\cdot10^{-3}\cdot\ 4\cdot10^{-7})^{1/2} \qquad m=3{,}5\cdot10^{-5}\ \ m=35\ \mu$$

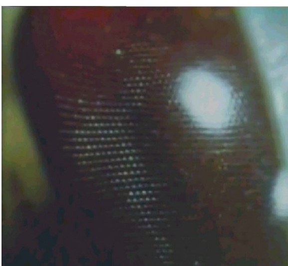
Diametrul real este de 30 μ , aşa că avem un acord foarte satisfăcător! Se pare deci că argumentarea noastră stă în picioare şi suntem în stare să înţelegem care factori determină mărimea ochiului albinei! De asemenea, este uşor de introdus apoi în formule valoarea de mai sus a lui δ şi de aflat cât de bună este rezoluţia unghiulară a ochiului albinei; fată de ochiul omenesc ea este foarte slabă. Noi putem vedea obiecte cu un diametru aparent de 30 de ori mai mic decât al celor pe care le vede albina. Faţă de ceea ce vedem noi, albina are o imagine neclară, nepusă la punct. Totuşi, acesta este maximum de claritate pe care-l poate ea realiza. Ne vom întreba de ce albinele nu-şi dezvoltă un ochi mai bun, asemănător cu al nostru, cu cristalin şi aşa mai departe. Există mai multe motive interesante. În primul rând, albina este prea mică; dacă ar avea ochi ca ai noştri, la dimensiunile ei, deschiderea ar fi cam de 30 μ şi difracţia ar fi atât de importantă încât, oricum, tot nu ar vedea prea bine. Un ochi ca al nostru la dimensiuni prea mici nu este bun. Pe de altă parte, dacă ochiul albinei ar fi prea mare, i-ar ocupa tot capul.



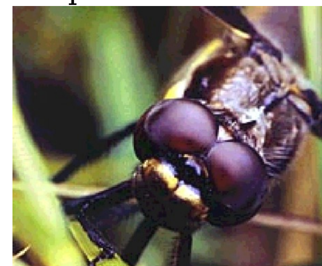
Avantajul ochiului compus este că el nu ocupă spaţiu; e doar un strat foarte subţire la suprafaţa albinei. Deci când ne întrebăm de ce albinele nu s-au luat după noi, să ne amintim că ele îşi au propriile lor probleme.

În afară de albină, multe alte animale pot vedea culorile. Peştii, fluturii, păsările şi reptilele pot vedea culorile, dar se crede că cele mai multe mamifere nu pot. Primatele văd culorile. Păsările văd cu siguranţă culorile, ceea ce explică coloraţia lor. N-ar avea nici un rost să existe masculi aşa de strălucitor coloraţi, dacă femelele n-ar putea să vadă aceasta. Aşadar, instinctul sexual al păsărilor este legat de faptul că femelele pot vedea culorile.

Toate nevertebratele au ochii slab dezvoltaţi sau chiar compuşi, iar toate vertebratele au ochi foarte asemănători cu ai noştri, cu o excepţie. Zoologii sunt de acord că cel mai evoluat animal este <u>caracatiţă</u>. E foarte interesant că pe lângă dezvoltarea creierului, a reacţiilor şi aşa mai departe, care sunt foarte bune pentru o nevertebrată, caracatiţa şi-a dezvoltat în mod independent, un ochi diferit de al altor nevertebrate. Nu au un ochi compus sau o pată sensibilă; el are cornee, are ploape, un iris, un cristalin, două regiuni umplute cu umoare si retină. E, în esenţă, acelaşi ochi ca la vertebrate. La caracatiţă constatăm, cu uimire, că retina e o porţiune din creier care a ieşit în afară în cursul dezvoltării embrionare, în acelaşi mod ca la vertebrate, dar lucrul interesant, diferit de ceea ce se observă la vertebrate, este că celulele sensibile la lumina sunt în interior, iar celulele care fac calculele se află în spatele lor, nu "pe dos", ca în ochiul nostru. Cei mai mari ochi sunt ai calmarului gigant: s-a găsit că ei au un diametru de circa 40 cm.



Ca şi albina, <u>barcagiul</u> are ochii compuşi. Aceştia constau într-un ansamblu de lentile mici. Deşi fiecare lentilă vede doar un fragment din întreaga scenă, ele se combină pentru a crea o singură imagine. Ochii barcagiul sunt fixaţi către lumina polarizată reflectată de apă.



Ochelarii polarizaţi distrug aceste reflexii, dar ochii barcagiului măresc ajutându-l să găsească noi locuri de împerechere.

<u>Libelula</u> are cel mai performant ochi compus. Vederea sa este de patru ori mai bună decât a pescarului de apă. Vederea bună este esenţială pentru această "bilă aerobică", deoarece libelula nu numai că vânează dar se şi luptă cu vântul. 40.000 lentile adună destula informaţie pentru manevre. Dar această vedere este totuşi de 30 de ori mai săracă decat a noastră. Pentru a fi pe măsura vederii noastre, ochii lor compuşi ar trebui sa fie de un metru lungime.

<u>Pescăruşul</u> are ochi cu suprafeţe de rezoluţie înaltă. Aceste suprafeţe sunt folosite pentru a identifica insectele zburătoare de pe cer, sau a hranei, partenerilor sau rivalilor. Disputele teritoriale sunt rezolvate prin lupte aeriene. Păsările au cea mai complexă viziune coloră dintre toate animalele. Celulele sensibile la lumină ale ochiului conţin până la cinci pigmenţi diferiţi. Aceşi pigmenţi detectează mult mai multe nuanţe decât putem vedea noi. Celulele ochiului conţin de asemenea şi picături colorate de ulei. Acestea au rolul unor filtre miniaturale si dezvăluie chiar mai multe culori. În timp ce, cele mai multe păsări folosesc picăturile de ulei pentru a avea o vedere coloră mai bună, păsările de mare folosindu-le pentru un scop diferit. Ochii pescăruşilor au o mare concentraţie de picături roşii de ulei. Se crede că acestea acţionează ca filtre reducând lumina albastră reflectată de apă. Pescăruşii se concentrează asupra bancurilor de ţipari. În timp ce plutesc, îşi folosesc vederea pentru a alege un peşte de pe lângă mal. Ochii nu se pot focaliza pe apă aşa că pur şi simplu îşi localizează ţinta şi se scufundă. Deşi pescăruşii nu pot face faţă schimbării concentrării necesare sub apă.



Există anumite păsări pescar, care pot face acest lucru. Ca multe animale, <u>cormoranul</u> focalizează lumina folosind o lentilă din interiorul ochiului cât şi corneea din exterior.

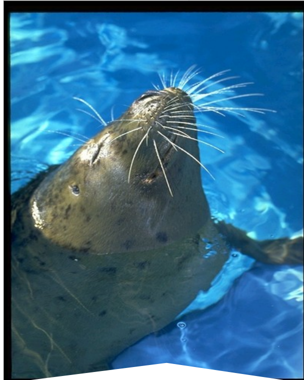
În aer corneea începe să focalizeze lumina, care este după aceea refocalizată de o lentilă care îşi poate schimba forma. Sub apă, corneea nu mai poate focaliza, de aceea vor putea vedea, dar în ceaţă, neafectând însă vederea cormoranului. Deformându-şi lentila externă acesta poate compensa acum nefolositoarea cornee, focalizând mai bine decât oricare alt animal. Ochiul cormoranului poate păcăli un peşte, dar in Mexic sunt peşti cu vedere ce poate păcăli păsări.



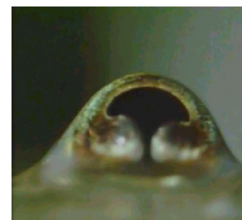
<u>Bufniţele</u> au un văz foarte bine dezvoltat. Ochii mari, bine adaptaţi la lumina slabă şi foarte slabă, le ajută la vânătoarea nocturnă. Se crede că bufniţele văd perfect chiar şi în întuneric perfect, iar în lumina puternică sunt oarbe- nici una dintre aceste presupuneri nu este adevarată. Deoarece ochii sunt orientaţi să privească în faţă, bufniţele, ca şi oamenii, au o vedere spaţială. Câmpul lor vizual este mult mai larg decât al nostru, deoarece pot întoarce capul aproape cu 180 de grade în ambele direcţii.

<u>Delfinii şi porcii de mare</u> vânează de obicei în stratul superior, iluminat de razele venite de la Soare, al mărilor, astfel putându-se folosi şi de văz în timpul vânătorii. Lentila ochilor este caracterizată de posibilitatea de schimbare a formei, astfel încât în apă cât şi în aer fixează foarte bine obiectele. Speciile cu botul prelungit au o excelentă vedere binoculară (vedere în spaţiu tridimensional), cu ajutorul căreia pot aproxima precis distanţa la care se află ceea ce văd. Cu toate acestea, deşi văzul este foarte util, nu absolut necesar pentru supravieţuirea delfinilor: cine a văzut un delfin

dresat, care execută comenzile primite cu ochii legaţi, ştie că aceştia posedă şi alte calităţi, cu ajutorul cărora percep extraordinar de bine mediul inconjurător



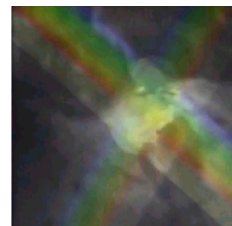
La foci, ochii s-au modificat conform difracţiei luminii în apă. Pe uscat, la lumina puternică, focile văd destul de bine, dar când intensitatea luminii scade şi pupila se dilată, vederea lor se opacizează şi în asemenea condiţii disting doar obiectele foarte mari, sau care se mişcă rapid. În apă, în schimb, situaţia este complet alta. Aici, focile cu urechi, datorită ochilor adaptaţi la proprietăţile optice ale apei, văd foarte bine chiar şi pe întuneric. Ochii lor sunt foarte sensibili, îndeosebi la lumina verde, ceea ce le avantajează sub apă.



Există un peşte numit peştele cu patru ochi, ai căror ochi plutesc deasupra apei. Fiecare ochi este divizat: cel de sus se uită după pradători, cum ar fi păsările, iar ochiul de jos caută hrană. În acest fel poate vedea hrana si pericolul simultan. Această specie de peşti distrage atenţia, prădătorilor şi de deasupra apei si de sub apă. Marele recif de corali este probabil casa celor mai ciudaţi ochi din lumea animală. Vederea lor este la fel de bizară ca şi înfăţişarea.

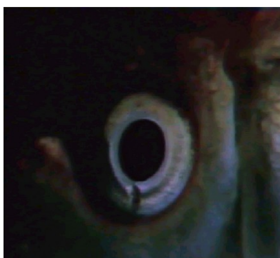


Creveta posedă o bandă centrală a ochiului, cel mai complex analizator de culori din lumea animală. În timp ce străbate marea, scanează luminile vizibile, dar şi luminile ultraviolete şi polarizate. Ochii caută orice poate fi in viaţă. Când este găsită o posibilă sursă de hrană, analizatorul o cercetează, apoi este pus în acţiune un al doilea analizator aliniind liniile scanate precum două sârme incrucişate.



În apele întunecoase şi tubure ale Amazonului locuiesc peşti cu o vedere la fel de formidabilă ca şi reputaţia lor de prădători. În apa rosie, colorată de materia organică, peştii pirania au ochi ce pot străpunge umbra. Ochii lor pot vedea raze de lumină invizibile pentru noi. Acestea sunt infraroşiile care pot penetra umbra.

În timp ce vânează, un banc format din aceşti peşti ucigaşi se bazează pe îndepărtatele infraroşii pentru a străbate apa tulbure. Pentru pisica de mare nu există scăpare.



Chiar şi peştele auriu are puterea vizuală a unui pirania. În lumea noastră a înaltei tehnologii, folosim infraroşiile pentru propria protecţie. Multe sisteme de securitate folosesc acest tip de lumină pentru a lumina parametrii păziţi. Invizibilă ochiului uman, dar captată de camere de luat vederi speciale, infraroşiile arată orice intrus. În timp ce un camion dispare în întuneric, este încă vazut de camere. Şi peştele auriu îl poate vedea, luminat de lampele infraroşii. Un sistem vizual ce a evoluat până la a face faţă apelor întunecate este aproape paralel cu unele dintre cele mai noi invenţii. Însă, peştele auriu are alte puteri vizuale. Nu numai că vede infraroşiile dar şi ultravioletele, o culoare formată la celălalt capăt al spectrului.



Neurologia vederii

Unul din punctele principale ale acestui subiect este interconexiunea informaţiilor venite din diverse părţi ale ochiului. Să considerăm ochiul compus al crabului în formă de potcoavă, asupra căruia s-au făcut multe experienţe. Înainte de toate, trebuie să ne dăm seama ce fel de informaţii se transmit de-a lungul nervilor.

Un nerv transportă un fel de perturbaţie care are un efect electric uşor de detectat, o undă de perturbaţie care se propagă prin nerv şi produce un efect la celălalt capăt. Informaţiile sunt transportate de-a lungul unei porţiuni a celulei nervoase, numite axon, prin care trec un fel de "impulsuri" atunci când celula este excitată la un capăt. Când prin nerv trece un impuls, nu poate urma imediat altul. Toate impulsurile sunt de aceeaşi mărime, aşa că atunci când obiectul este mai puternic excitat nu obţinem impulsuri mai intense, ci obţinem mai multe impulsuri pe secundă. Mărimea impulsului e determinată de fibra nervoasă. Este important să ne dăm seama de aceasta, pentru a înţelege ce se întâmplă mai departe. Ochiul compus al crabului sub formă de potcoavă nu e prea mare, are numai circa 1000 de omatide. Printr-o secţiune transversală a sistemului se pot vedea omatidele, cu fibrele nervoase care ies din ele şi merg la creier. Observăm că există puţine interconexiuni. Ele sunt puţin mai complicate decât în cazul ochiului omenesc şi ne oferă ocazia de a studia un exemplu mai simplu. Au avut loc experienţe care s-au făcut introducând nişte electrozi fini în nervul optic al crabului trimiţându-se lumină numai pe o singură omatidă, ceea ce e uşor de făcut cu ajutorul unor lentile. Dacă trimitem lumina la un anumit moment t_0 şi măsurăm pulsurile electrice care rezultă, constatăm că după un scurt interval de timp apare o serie rapidă de descărcări care îşi încetinesc treptat ritmul până ce ajung să se succeadă uniform. Când lumina se întrerupe, descărcarea se opreşte. E foarte interesant că dacă, în timp ce amplificatorul e conectat la aceeaşi fibră nervoasă, trimitem lumina pe altă omatidă, nu se întamplă nimic; nu avem nici un semnal. Observăm că dacă trimitem lumină pe omatida iniţială obţinem acelaşi semnal; dacă însă trimitem lumină şi pe o altă omatidă învecinată, pulsurile sunt întrerupte un scurt timp iar apoi se succed în ritm mult mai lent. Ritmul pulsurilor provenite de la prima omatidă e inhibat de impulsurile primite de la a doua! Cu alte cuvinte, fiecare fibră nervoasă transmite informaţii de la o singură omatidă, dar cantitatea transportată este inhibată de semnalele de la celelalte celule. Dacă întregul ochi e mai mult sau mai puţin uniform iluminat, informaţia provenind de la oricare omatidă va fi relativ slabă, fiindcă este inhibată de atât de multe alte pulsuri. De fapt inhibiţia este aditivă – dacă trimitem lumină pe mai multe omatide învecinate inhibiţia este foarte mare. Inhibiţia e mai mare când omatidele sunt mai apropiate, iar dacă ele sunt suficient de departe una de alta inhibiţia este aproape zero. Deci ea e aditivă si depinde de distanţă. Dacă ne gândim puţin, putem vedea că acesta este un mecanism de accentuare a contrastului la marginile obiectelor; căci dacă o parte a scenei e iluminată, iar o parte e întunecată, omatidele din regiunea iluminată dau impulsuri care sunt inhibate de toate celulele iluminate din vecinătate, deci sunt relativ slabe. Pe de altă parte, o omatidă situată pe frontieră, care priveşte un impuls "alb", e şi ea inhibată de celelalte omatide învecinate, dar ele sunt mai puţine, întrucât unele nu sunt luminate; semnalul total este deci mai puternic. Rezultatul va fi o curbă. Crabul va vedea o accentuare a conturului.

Faptul că există o accentuare a contururilor e cunoscut de multă vreme; el este într-adevăr un fapt remarcabil, care a fost comentat de multe ori de către psihologi.

Făcând o experienţă corespunzătoare asupra unei broaşte, introducând, nişte electrozi foarte fini, ingenios construiţi, de forma unor ace, în nervul optic al unei broaşte, se pot obţine semnale care se propagă de-a lungul unui anumit axon; exact ca în cazul crabului în potcoavă se găseşte că informaţiile depind nu numai de un singur punct al ochiului, ci reprezintă suma informaţiilor sosite din mai multe puncte.

Cea mai recentă reprezentare a modului în care funcţionează ochiul de broască e următoarea. Se pot găsi patru feluri diferite de fibre nervoase optice, în sensul că există patru feluri diferite de semnale. Experienţele nu au fost făcute trimitându-se impulsuri prin stabilirea şi întreruperea luminii, fiindcă broasca nu vede

aşa ceva. Broasca stă cu ochii nemişcaţi, până când o frunză de nufăr începe să se mişte. În acest caz, ochii săi se deplasează exact cât trebuie ca să prindă imaginea. Ea nu îşi roteşte ochii. Dacă în câmpul său de vedere se mişcă ceva, cum ar fi un mic gândac (ea trebuie să fie în stare să vadă un obiect mic mişcându-se pe fondul nemişcat), se constată că există patru feluri diferite de fibre care se descarcă. Mai înâi avem detecţia susţinută a marginilor (persistentă), care înseamnă că dacă aducem în câmpul vizual al unei broaşte un obiect având un contur net , în această fibră apar o mulţime de impulsuri în timp ce obiectul se mişca. Când acesta se opreşte ele se transformă într-un impuls susţinut care continuă atâta vreme cât marginea se află în câmpul vizual. Dacă întrerupem lumina, impulsurile încetează. Dacă o restabilim, marginea aflându-se mai departe în câmpul vizual, ele pornesc din nou; sunt persistente. Alt fel de fibră e foarte asemănătoare, cu excepţia că dacă marginea e dreaptă, ea nu funcţionează. Trebuie să avem o margine convexă pe un fond întunecat. În plus, deşi această fibră susţine într-o oarecare măsură semnalul, ea nu îl susţine atât de multă vreme ca cealaltă fibră, iar dacă întrerupem lumina şi o restabilim semnalul nu apare. El depinde de introducerea suprafeţei convexe în câmpul vizual. Ochiul o vede mişcându-se şi îşi aminteşte că ea se află acolo; dar nu întrerupem lumina pentru un moment, el pur şi simplu o uită şi nu o mai vede.

Alt caz este detecţia variaţiei de contrast. Dacă avem o margine care se mişcă apărând sau dispărând din câmpul vizual, apar pulsuri, dar dacă obiectul stă pe loc, nu există de loc pulsuri.

Există apoi un detector de întunecare. Dacă intensitatea luminii scade, el produce pulsuri; dar dacă ea devine constantă (puternică sau slabă, indiferent) impulsul se opreşte; detectorul funcţionează numai în timp ce lumina se întunecă.

În sfârşit există câteva fibre care sunt detectori de întuneric – un lucru deosebit de uimitor- ei declanşează impulsuri încontinuu! Dacă mărim intensitatea luminii, ei declanşează mai puţin rapid, dar încontinuu. În întuneric ei funcţionează nebuneşte.

Aceste semnale sunt destul de complicat de clasificat şi ne-am putea întreba dacă nu cumva experienţele au fost greşit interpretate. E foarte interesant însa că exact aceleaşi clase de fenomene sunt uşor reprezentate în anatomia broaştei! Prin alte măsurători, efectuate după ce aceste semnale fuseseră clasificate, s-a descoperit că viteza semnalelor nu era aceeaşi în diverse fibre.

Locul unde nervul optic intra în creierul unei broaşte se numeşte tectum. Toate fibrele nervoase care vin din nervul optic sunt conectate în diverse straturi ale tectumuli. Această structură stratificată e analogă cu retina; în partea aceasta este modul în care ştim că, creierul şi retina sunt foarte asemănătoare. Luând un electrod si plasându-l succesiv în jos prin straturi, putem afla ce fibre se termină în diversele straturi. Primele se termină în stratul numărul 1, următoarele în numărul 2, fibrele 3 si 5 se termină în acelaşi loc, şi cel mai adânc pătrund fibrele numărul patru.

Există probabil trei pigmenţi. Pot exista mai multe feluri de celule receptoare, conţinând cei trei pigmenţi în diverse proporţii, însa există multe conexiuni încrucişate care pot permite adunări şi scăderi, prin adunare sau întărire în sistemul nervos.